

JP06339885

Publication Title:

JP06339885

Abstract:

Abstract not available for JP06339885

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

特開平6-339885

(43) 公開日 平成6年(1994)12月13日

(51) Int.Cl. ³	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 5 J 13/00		Z		
		Z		
		G 8611-3 F		
G 0 5 D 3/12	3 0 5 L	9179-3 H		

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号	特願平6-46716	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地
(22) 出願日	平成 6 年(1994) 3 月 17 日	(72) 発明者	野中 洋一 神奈川県横浜市戸塚区吉田町282番地株式会社日立製作所生産技術研究所内
(31) 優先権主張番号	特願平5-73343	(72) 発明者	坂上 志之 神奈川県横浜市戸塚区吉田町282番地株式会社日立製作所生産技術研究所内
(32) 優先日	平 5 (1993) 3 月 31 日	(74) 代理人	弁理士 小川 勝男
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

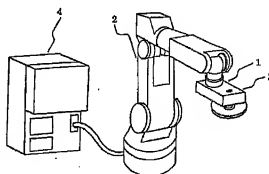
(54) 【発明の名称】 ロボットのコンプライアンス制御方法

(57) 【要約】 (修正有)

【構成】 速度を検出する手段と外力を検出する手段とを備える多自由度ロボット 2 において、仮想コンプライアンス制御手法を適用する。そして、外力を検出する機構から得られる値から、手先効果器 3 の重量による影響と、手先効果器 3 のジャイロモーメントによる影響を差し引くことにより、制御の中に構築される制御系の数学モデルの中の外力項を設定する。

【効果】 構造的に大きな回転運動量を有する回転体がロボットの手先効果器として設置された場合においても、対象物に対して任意の機械コンプライアンスを有する制御系を構築することが可能となる。また、ロボットの手先効果器に加わる外力を推定する場合、ロボットの手先効果器に回転体が用いられた場合発生するジャイロ効果を排除して、より精度の高い外力の推定が可能となる。

図 1



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 速度を検出する手段と外力を検出する手段を備える多自由度ロボットにおいて、ロボットの手先効果器に回転体を用いられた場合発生するジャイロ効果を、ロボットの運動制御方法に反映させて補償することを特徴とするロボットのコンプライアンス制御方法。

【請求項2】 前記速度を検出する手段の代わりに位置を検出する手段を備える多自由度ロボットにおける請求項1のロボットのコンプライアンス制御方法。

【請求項3】 請求項1のロボットにおいて、手先効果器に加わる外力を推定する場合、ロボットの手先効果器に回転体を用いられた場合発生するジャイロ効果を排除して、より精度の高い外力の推定ができる推定方法。

【請求項4】 請求項1のロボットにおいて、手先効果器と対象物の接触点を推定する場合、ロボットの手先効果器に回転体を用いられた場合発生するジャイロ効果を排除して、より精度の高い接触点の推定ができる推定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、産業用ロボットの手先効果器の機構の特性によるロボットの運動制御の乱れを補償するロボットのコンプライアンス制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 製造現場における、穴開け作業、バリ取り作業、研削作業などの作業をロボットに行わせるためには、従来の位置決め用ロボットにはない高度な性能が要求される。その要求される性能の一つとして、力を制御できることが挙げられる。この力制御の方法として、従来のロボットの手先効果器に剛性を設定できる機構を設けて制御するハードウェアによる力制御方法と、制御ソフトウェア上でロボットに剛性を与えて制御するソフトウェアによる力制御方法が提案されていた。いずれもロボットの手先効果器に剛性を与えることができる。しかし、ソフトウェアによる力制御方法の方が、ロボットの運動に対してより細かい力制御が行うことが可能である。その中でも、ソフトウェアにより手先効果器に多自由度の機械コンプライアンス機構を実現する方法が、計測自動制御学会論文集Vol. 22, No. 3 p 343-350 (昭和61年3月) で記載されている 仮想コンプライアンス制御方法 である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 仮想コンプライアンス制御では、外力に対してロボットの手先効果器の機械コンプライアンスを任意に設定できることが特徴として挙げられる。これにより、対象物に対して任意の機械コンプライアンスを有することができる。

【0004】 ここで、実際にこの制御系を構築するのに必要な外力の値は、構造的に手先効果器と対象物の間の

2

値を直接計測することは不可能である。よって、これは通常、ロボットと手先効果器の間の手首部分で計測される。ここで注意すべき点は、(後で詳細に説明する) 計測された外力の値は手先効果器の物理パラメータによる外力を内包していることである。そこで、この手先効果器の物理パラメータによる外力を正確に求め、計測された外力の値からこれを差し引いて、純粋な対象物からの外力の値を求めなければ、対象物に対して任意の機械コンプライアンスを有することができない。

10 【0005】 ロボットが対象物に対して任意の機械コンプライアンスを得るために、従来は、計測された外力の値は手先効果器の物理パラメータによる外力として手先効果器自体の重量を外力に反映させていた。

【0006】 しかし、構造的に大きな回転運動量を有する回転体が手先効果器として設置された場合、対象物に対して任意の機械コンプライアンスを有するためには、先述の手先効果器自体の重量の他に、手先効果器の回転運動量とロボットの運動量が干渉して発生するジャイロ

モーメントを外力に反映させなければならない。

20 【0007】 従来の仮想コンプライアンス制御では、ジャイロモーメントを外力に反映させていなかった。よって、構造的に大きな回転運動量を有する回転体が手先効果器として設置された場合、この回転運動とロボットの運動とが干渉して発生するジャイロモーメントによる外力が、外力の成分の中で支配的になり、有効な制御系を構築することができない場合があった。

【0008】 本発明の目的は、ロボットの手先効果器に回転体が設置された場合でも対象物に対して任意の機械コンプライアンスを得ることができるロボットのコンプライアンス制御方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明は、速度を検出する手段と外力を検出する手段とを備える多自由度ロボットにおいて、仮想コンプライアンス制御方法 (後述する) を適用し、制御の中に構築される制御系の数学モデルについて、外力を正確に設定するようにした。すなわち、外力を検出する機構から得られる値から、手先効果器の重量による影響項を差し引く従来の制御方法に加えて、手先効果器のジャイロモーメントによる影響項を差し引くことにより、制御系の数学モデルの外力項を設定することができる。

【0010】

【作用】 本発明によれば、構造的に大きな回転運動量を有する回転体が手先効果器として設置された場合、手先効果器自体の重量の他に、手先効果器の回転運動量とロボットの運動量が干渉して発生するジャイロモーメントを、外力を検出する機構から得られる値に反映することができ、対象物に対して任意の機械コンプライアンスを有する制御系を構築することが可能となる。

30 【0011】 さらに本発明によれば、構造的に大きな回

3

駆動量を有する回転体が手先効果器として設置されたロボットで、手先効果器と対象物の接触点を知りたい場合、手先効果器の回転運動量とロボットの運動量が干渉して発生するジャイロモーメントの影響を排除した、より精度の高い接触点の推定が可能となる。

【0012】

【実施例】以下、本発明の実施例を図1から図4を参照して説明する。

【0013】図1は、本発明を実施する装置の構成例である。手首部分に6自由度の力とトルクを検出するセンサ1を設置した6自由度多関節型ロボット2の手先効果器に、グラインダ3が取り付けられている。ロボットの各関節には、回転角または回転角速度を検出するセンサが設置されている。ロボットは、制御装置4により制御され、手先効果器に任意の機械コンプライアンスを与えることができる。なお、6自由度多関節型ロボット2の6自由度の力とトルクを検出するセンサ1は、ロボットと手先効果器の間に必要はなく、グラインダ3と磁*

$$[M] \frac{dv}{dt} = q - [k] e - [C] v$$

【0018】ここで

q: グラインダに加わる外力 (並進力と回転力)

v: グラインダの速度 (並進速度と回転速度)

e: グラインダの基準位置、基準姿勢からの偏差 (位置偏差と姿勢偏差)

[M]: グラインダにおける仮想質量

[k]: グラインダにおける仮想バネ定数

[C]: グラインダにおける仮想粘性定数

上式の外力qの値は、力とトルクを検出するセンサ1から得ることができる。

【0019】また、数1のvの値は、回転角または回転角速度を検出するセンサから得ることができる。回転角を検出するセンサが設置されている場合、検出された値を時間微分することにより回転角速度を得ることができる。

$$q = q_1 - (q_1 + q_1)$$

ここで、

q: 求める外力 (並進力と回転力)

q₁: 計測される外力 (並進力と回転力)q₂: 手先効果器の重量による外力 (並進力と回転力)

q₃: 手先効果器の研削点に作用するジャイロモーメントによる外力 (並進力と回転力)

従来の仮想コンプライアンス制御では、数2のq₁の項を導入していなかったために、機械的に大きな回転運動量を有する回転体が手先効果器として設置された場合、手先効果器の回転運動とロボットの運動とが干渉して発生するジャイロモーメントによる外力が、求める外力qの成分の中で支配的になり、有効な制御系を構築することができない場合があった。

【0024】例えば、手先効果器にグラインダを設置し

4

*石5の間に設けることもできる。また、コンプライアンス制御を構築するために設置された6自由度の力とトルクを検出するセンサ1とは別にジャイロモーメントを適切に検出できるようにロボット等を構成する部材にセンサを設けても良い。

【0014】図2は、制御系のブロックダイアグラムである。操作者は、制御装置に後述する仮想係数と呼ばれる、ある条件値を設定する。すると、制御装置は、ロボットから検出される力と位置の情報を内蔵の制御側に取り込んで演算を行う。そしてその結果に基づき、ロボットに速度指令を行って、ロボットを制御する。

【0015】図3は、本発明の制御方法を説明するために、制御装置に構築される手先効果器の数学モデルの構成例である。

【0016】手先効果器の運動を表す式として次式が挙げられる。

【0017】

【数1】

$$\dots\dots\dots (数1)$$

※【0020】そして、数1のeの値は、回転角または回転角速度を検出するセンサから得ることができる。回転角速度を検出されているセンサが設置されている場合、検出された値を時間積分することにより回転角を得ることができる。

【0021】式(1)の[M], [K], [C], を適当に設定することにより、手先効果器に加わる外力qに対して任意の機械コンプライアンスを得ることができる。[M], [K], [C], を仮想係数と呼ぶ。

【0022】しかしながら、実際にこの制御系を構築するのに必要な外力qの値は、機械的にロボット2とグラインダ3の間の手首部分で計測されるので、得られた値は手先効果器の物理パラメータによる外力を内包している。よって、外力qを以下のようにして求める。

【0023】

$$\dots\dots\dots (数2)$$

て一定の押しつけ力を加えながら対象物を研削する場合、グラインダの回転とロボットの運動とが干渉してジャイロモーメントが発生し、従来では対象物に対して一定の押しつけ力を加えながら作業することができなかった。しかしながら、本発明により、数2に表されるように、外力qからジャイロモーメントによる外力q₁を排除することにより、対象物に対して一定の押しつけ力を加えながら作業することが可能となる。

【0025】以下具体例として、カセンサの計測値から外力を推定する手法について述べる。

【0026】なお以降の議論では、力とモーメントからなる6次元ベクトルをレンチと呼ぶことにする。まず議論を進める上で、図4にある変数の定義を以下に示す。

【0027】

5

6

Σ_s カセンサ計測点を原点とした座標系
 p_s ツール重心点 (回転体を含む)
 p_c ツールの回転体重心点
 p_s ツールとワークの接点
 λ_s Σ_s で表現した p_c の位置ベクトル
 λ_c Σ_s で表現した p_c 原点の位置ベクトル
 λ_s Σ_s で表現した p_s 原点の位置ベクトル
 E_s ツールの運動で p_s に発生する慣性モーメント
 (回転体を含む)

K ツールの運動で p_s に発生する慣性力 (回転体を含む) 10

M 重力 (回転体を含む)

W ツールの姿勢変化の回転速度

V_s p_s における並進速度

T ツールとワークの接触から加えられる力

Q_s ツールとワークの接触から p_s に加えられるモーメント

N_c 回転体のジャイロモーメントから p_c に加えられるモーメント

R^* 回転体の回転速度…………… (別の剛体の物理量なので*)で区別)

$[I^*]$ 回転体の慣性テンソル…………… (別の剛体の物理量なので*)で区別)

ε デュアル数

e カセンサの歪ゲージ電圧 (6チャンネル)

$[T]$ カセンサの電圧変換行列 (電圧をレンヂに変*

$$N_s = W \times [I^*] R^* \quad \text{…… (数5)}$$

p_s で発生するレンヂは、 Σ_s 原点を基準とするレンヂ F_s で表せる。 ※

$$F_s = T + \varepsilon (Q_s + \lambda_s \times T) \quad \text{…… (数6)}$$

p_c で発生するレンヂは、 Σ_s 原点を基準とするレンヂ F_c で表せる。 ★

$$F_c = \varepsilon N_c \quad \text{…… (数7)}$$

p_s で発生するレンヂは、 Σ_s 原点を基準とするレンヂ F_s で表せる。 ☆

$$F_s = K + M + \varepsilon \{ E_s + \lambda_c \times (K + M) \} \quad \text{…… (数8)}$$

よって、 Σ_s 原点を基準としたツールに作用するレンヂは、数6、数7、数8の和として、 Σ_s 原点を基準とす ◆

$$F = T + K + M + \varepsilon \{ Q_s + N_c + E_s + \lambda_s \times T + \lambda_c \times (K + M) \} \quad \text{…… (数9)}$$

ツールに作用するレンヂ F とカセンサから計測されるレンヂ q_{s1}, \dots は同じ物理量である。よって、カセンサから計測される値と数9の関係を導出する。重力 M と p_c の位置ベクトル λ_c は予め計測され、既知である。またツールの運動において、ツール重心点での並進速度 V_s とツール姿勢変化の回転速度 W の時間変化は小さい。よ *

$$q_{s1}, \dots = f_s + \varepsilon m_s \quad \text{…… (数10)}$$

よって、 F は以下の如き表せる。

$$T + M + \varepsilon \{ Q_s + N_c + E_s + \lambda_s \times T + \lambda_c \times M \} = f_s + \varepsilon m_s \quad \text{…… (数11)}$$

*換する 6×6 行列)

f_s カセンサから直接検出される力

m_s カセンサから直接検出されるモーメント

\times 外積演算子

カセンサは、6要素の歪ゲージによって構成されているので、カセンサから計測されるレンヂ q_{s1}, \dots は数3から求められる。

$$[0 \ 0 \ 2 \ 8]$$

$$q_{s1}, \dots = [T] e \quad \text{…… (数3)}$$

q_{s1}, \dots : カセンサから計測されるレンヂ

よって外力項 q の推定は、数4から求められる。

$$[0 \ 0 \ 2 \ 9]$$

$$q = q_{s1}, \dots - (q_{s1} + q_{s2}) \quad \text{…… (数4)}$$

q_{s1}, \dots : ツールの重量に起因するレンヂ

q_{s1}, \dots : ツールの機構特性に起因するレンヂ

レンヂ q_{s1}, \dots には、ツールの回転運動量の変化によるジャイロモーメントと、ロボットの動作の加減速による慣性レンヂを含む。数4から、カセンサで計測されたレンヂから、ツールに起因するレンヂを差し引いたものが外力項であることがわかる。

[0 0 3 0] 次に、 Σ_s 原点を基準としたツールに作用するレンヂ F を求める。ジャイロモーメントからツールに働くモーメント N_c は、以下の式で表すことができる。

$$[0 \ 0 \ 3 \ 1]$$

$$N_c = W \times [I^*] R^* \quad \text{…… (数5)}$$

$$\times [0 \ 0 \ 3 \ 2]$$

$$F_s = T + \varepsilon (Q_s + \lambda_s \times T) \quad \text{…… (数6)}$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 3]$$

$$F_c = \varepsilon N_c \quad \text{…… (数7)}$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 4]$$

$$F_s = K + M + \varepsilon \{ E_s + \lambda_c \times (K + M) \} \quad \text{…… (数8)}$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 5]$$

$$F = T + K + M + \varepsilon \{ Q_s + N_c + E_s + \lambda_s \times T + \lambda_c \times (K + M) \} \quad \text{…… (数9)}$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 6]$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 7]$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 8]$$

$$\star [0 \ 0 \ 3 \ 9]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 0]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 1]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 2]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 3]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 4]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 5]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 6]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 7]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 8]$$

$$\star [0 \ 0 \ 4 \ 9]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 0]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 1]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 2]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 3]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 4]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 5]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 6]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 7]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 8]$$

$$\star [0 \ 0 \ 5 \ 9]$$

7

8

これにより、接触点 λ_1 が既知の場合、力センサの計測値から外力を、数12、数13のように推定できる。 *

$$T = f_s - M \quad \dots\dots (数12)$$

$$Q_s = m_s - (N_s + E_s + \lambda_s \times T + \lambda_s \times M) \quad \dots (数13)$$

一方、外力が既知の場合、数11から接触点 λ_1 を以下のようにして推定することができる。グラインダによる研削作業を想定した場合、ツールとワークとの接触は、凸曲線と曲面の接触と考えられるため、点接触として近似できる。これは力学的には、接触点において力は伝え

※触によるモーメント Q_s を省略することができる。よって、 δ を任意の定数として、接触点 λ_1 は数14のように表せる。

【0039】

【数14】

$$\lambda_s = \frac{(\lambda_s \times M + N_s - m_s) \times (f_s - M)}{(f_s - M)^2} + \delta (f_s - M) \quad \dots\dots (数14)$$

【0040】数14は任意定数 δ を含むため、 λ_s は一意に求めることはできない。よって、数15のように、制約条件としてワークに接触可能なツールの形状を用い★

$$J(\lambda_s) = 0$$

数15は、 Σ_i で表現した任意のベクトル λ_s で表されるツールの接触可能な部分の形状を表す。例としてツールにグラインダが用いられるとき、グラインダの砥石を空間内の円盤として Σ_i で表現することが考えられる。押しつけ力の作用線は、この円盤に含まれる場合を除いて、1回だけこの円盤と交わる。このとき δ が求められ、接触点 λ_1 を推定することができる。

【0042】

【発明の効果】本発明によれば、機械的に大きな回転運動量を有する回転体がロボットの手先効果器として設置された場合においても、対象物に対して任意の機械コンプライアンスを有する制御系を構築することが可能となる。

【0043】また、ロボットの手先効果器に加わる外力を推定する場合、ロボットの手先効果器に回転体が用いられた場合発生するジャイロ効果を排除して、より精度の高い外力の推定が可能となる。

★。

【0041】

…… (数15)

【0044】さらに、ロボットの手先効果器と対象物の接触点を知りたい場合、手先効果器の回転運動量とロボットの運動量が干渉して発生するジャイロモーメントの影響を排除した、より精度の高い接触点の推定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施する装置の構成例を示した図である。

【図2】本発明を実施する装置の制御系のブロックダイアグラムである。

【図3】本発明の方法を説明するために、制御装置に構築される手先効果器の数学モデルの構成例である。

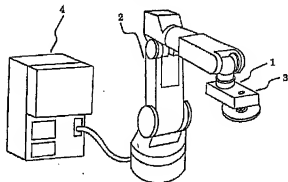
【図4】本発明に関係するジャイロ効果について、具体的な例を示した図である。

【符号の説明】

1…力とトルクを検出するセンサ、2…6自由度関節型型ロボット、3…ディスクグラインダ、4…制御装置

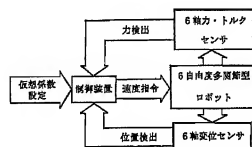
【図1】

図 1

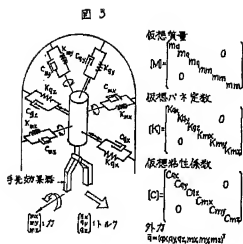


【図2】

図 2



【図3】



【図4】

